التعدين القديم و طرق تشكيل الأدوات النحاسية و سبائكها

د.عياتي خوخة

معهد الآثار – جامعة الجزائر 2

يعد التعدين من بين أهم الأنشطة التي مارسها الإنسان، حيث أثبتت الدراسات الأثرية أن البوادر الأولى لاستعمال المعدن ترجع إلى العصر النيوليتي، و قد تم استغلاله في الأزمنة البدائية بصفة بطيئة، و هذا لاختلاف المعدن عن المواد الأولية التي تعوّد على استعمالها كالصوان و العظام من جهة، و صعوبة التحكم في النار و في تقنيات التعدين من جهة أخرى.

تنتشر هذه المعادن في الطبيعة، و تكون في معظم الأحيان في حالة مركبة تعرف بالفلزات(Minerais)، و هي دائما مغلفة بغلاف معدني(H. Guerin, 1969, p. 150) ، إذ تكون إما على شكل أكاسيد، أو كاربونات ،أو على شكل سولفورات، و قليل منها فقط يظهر في شكل غير مركب، او نقي و هو ما يعرف بالمعادن الخامة(Les Métaux Natifs)، منها النحاس، و الفضة، و الذهب، و الرصاص، و الحديد، واستثنائيا الحديد النيزكي، هذه المعادن الخامة تكون هي الأخرى، في معظم الأحيان مغلفة، و تأخذ كلها اللون الأبيض القصديري، باستثناء النحاس (أحمر) و الذهب(أصفر).(A. Betekhtine 1968, p. 163)

و قد تمكن الإنسان منذ فترات ما قبل التاريخ، من تصنيع كل المعادن الخامة المعروفة حاليا، لأنها توجد على سطح الأرض، بالإضافة إلى انها سهلة التشكيل. (J. P. Mohen, 1990, p. 48) إذ تعود أقدم أداة عثر عليها لحد الآن إلى الألفية التاسعة، و هي مشكلة من النحاس، وجدت بمنطقة زاقروس (Zagros) بكردستان شمال شرق العراق، كما عثر على أدوات أخرى صغيرة تعود إلى الألفية الثامنة، في مناطق مختلفة من إيران، و تركيا، و سوريا، ثم تعممت عبر أنحاء العالم مع نهاية الألفية الخامسة.(J. P. Mohen, 1990, p. 49)

و بالتالي يهتم التعدين القديم بدراسة كل المعادن التي استغلها الانسان منذ اكتشافه لها، و كذا تحديد مصدرها، كما يكشف عن طرق معالجة هذه المعادن (الطحن، الغسل، التحميص...) و كيفية ارجاعها في أفران خاصة بالمعادن، و هذا ما يساعدنا في إعادة تصور السلسلة العملية التي يتم فيها تشكيل القطع النصف جاهزة أو النسائك إلى أن نتحصل على الأداة كاملة.

- **أهم معادن عصري النحاس و البرونز**

من بين أهم المعادن التي صنعها الانسان نذكر:

1- **النحاس**(Le Cuivre) **(Cu)** :

أشتقت كلمة النحاس من اسم جزيرة "قبرص" Cyprus التي اشتهرت بمناجم النحاس منذ العصور القديمة، كما أطلق الرومان على النحاس اسم Cyprium-aes، التي اشتقت منها بعد ذلك كلمة Cuprum، و التي تعني النحاس باللغة اللاتينية. لونه أحمر، و لقد استغل إنسان ما قبل التاريخ هذا المعدن في أشكال مختلفة و هي:

أ- النحاس الخام:

من المرجح ان يكون أولى المعادن التي استغلها الإنسان، بالرغم من ندرته. يوجد في الطبيعة بأحجام مختلفة، من الذرة المجهرية إلى الكتل الكبيرة، التي قد يصل وزنها عدة أطنان (D. Grébénart, 1988, p. 15). يتميز بمرونته و قابليته الكبيرة للتشكيل على البارد (R.F. Tylecote, 1991, p. 231)، و بصهره نتحصل على معدن نقي (C. Chaussin, G. Hilly, 1974 a, p. 194).

ب- الأكاسيد النحاسية:

تتمثل في الكوبريت (Cuprite Cu_2O) ذو لون أحمر، إلى أسمر رصاصي، و هو من أحسن المعادن النحاسية، و أكثرها استعمالا مع النحاس الخام في فترة ما قبل التاريخ. (A. Betekhtine 1968, p. 199)

ت- الكربونات:

من أهم كربونات النحاس التي استغلها الإنسان القديم:

- **المالاكيت**(La malachite):

هي كلمة من أصل يوناني ملاش (Malache)، تأتي تركيبتها الكيميائية على هذا النحو: ($Cu_2[Co_3][OH]_2$). و تعتبر من بين خامات النحاس الواسعة الانتشار، و أقدمها استغلالا مع الكوبريت، إذ يظهر على سطح معظم الرواسب النحاسية بلون أخضر داكن، و هو يحتوي على نسبة 57.3 % من النحاس (الصورة.1).

- **الأزوريت(L'azurite)**:

هي كلمة يونانية الأصل، مشتقة من أزور (Azure) أي أزرق سماوي (الصورة.2)، تأتي تركيبته على النحو التالي ($Cu_3[Co_3]_2[OH]_2$)، وهو يشبه المالاكيت وعادة ما يكون قريب منه (الصورة.3)، عندما يكون لونه أزرق قاتم، يحتوي على نسبة 55.1 % من النحاس، متوفر وسهل الاستغلال (إبراهيم محمد عبد الله، 2012، ص.15)

ث- سلفورات النحاس:

أهم الفلزات النحاسية السلفورية التي استغلها إنسان ما قبل التاريخ نذكر:

- **كالكوبيريت**(La chalcopyrite):

كلمة يونانية من كالكو (Chalco) و هو النحاس، أما بيروس (Pyros) فتعني النار، تتشكل من($CuFeS_2$)، و هو سلفور مزدوج من النحاس و الحديد، و يعرف كذلك بـــ "بيريت النحاسي"، يكون دائما مصحوب بالبيريت (FeS_2)، ذو اللون الأصفر الذهبي، فالكالكوبيريت هو السلفور الأكثر انتشارا في الطبيعة و الأكثر استعمالا. (E. Burger, 2008, P. 20)

- **كالكوزين**(Chalcosine):

ذو تركيبة (Cu_2S)، لونه أسمر رصاصي، و هو الآخر يعتبر من أغنى الفلزات السلفورية بالنحاس.

- **النحاس الرمادي** (les cuivres gris):

هو كثير الاستعمال من طرف إنسان ما قبل التاريخ، عبارة عن سورفورات مركبة تحتوي على عناصر مختلفة أهمها الزرنيخ و الأثمد، كما نجد الحديد، الزنك، و الفضة، و عناصر أخرى(الصورة.4). و من بين الفلزات الرمادية المعروفة نجد التترايدريت (Tétraédrite)، و هو الآخر كثير الانتشار، و كذا التينونتيت (Ténantite). (C. Chaussin, G. Hilly, 1974 a, p. 194)

2- القصدير (L'étain) **(Sn) :**

يدخل القصدير في تركيبة أكثر من خمسين معدن في الطبيعة، لكن معظمها ضئيلة الوجود. من بين الفلزات الأكثر وجودا و استعمالا، نذكر الكاسيتيريت(La Cassitérite) (SnO_2) ، الذي يعتبر الفلز الرئيسي للقصدير، و هو يعرف كذلك بحجر القصدير، (الصورة.5) حيث تصل نسبة هذا الأخير إلى 78,8%، كما أنه يحتوي في تركيبته على الحديد (Fe)، و معادن أخرى، مما يؤثر على لونه من الأحمر، أو الأسمر إلى الأسود، و هذا حسب نسبة الحديد الذي يدخل في تركيبته، و هناك فلزات أخرى استعملها الانسان من بينها فلز الستانين أو الستانيت (Stanite ou stanine).

فالقصدير فلز هش (A.Betekhtine, 1968, p. 329)، يذوب في درجة حرارية منخفضة لا تفوق 232°م، أما عندما يكون في شكله المؤكسد كالكاسيتيريت، ترتفع درجة إنصهاره. عرف القصدير منذ فترة فجر التاريخ، بمزجه مع النحاس لتشكيل البرونز، و لقد اكتشف الإنسان إيجابيات هذا المزيج، و هو ما ميز فترة كبيرة معروفة بعصر البرونز. أما الأدوات التي صنعت خصيصا من معدن القصدير فهي قليلة جدا، نذكر منها سوار من القصدير النقي، الذي عثر عليه في تيرمي (Thermi) بجزيرة لسبوس (île Lesbos) ببلاد اليونان، المؤرخ بـــ 3000 سنة قبل الميلاد. (J. P. Mohen, 1990, p. 103)



صورة. 1– مالاكيت (Malachite)



صورة. 2– أزوريت (Azurite)



صورة. 3– مالاكيت بالأخضر و الأزوريت بالأزرق



صورة. 4– النحاس الرمادي

3– التوتياء(Le Zinc) **(Zn):**

استعمل الإنسان التوتياء كسبيكة مع المعدن الرئيسي النحاس، ليشكل سبيكة الليطون، في فترات متأخرة تعود إلى الألفية الاخيرة ق. م، حيث تم مزج فلز النحاس مع فلز التوتياء الذي يعرف بالسفاليريت (la Sphalérite ZnS) ، و هو الخام الرئيسي للتوتياء(**الصورة.6**).

تمكن الإنسان من الحصول على مزيج متجانس شبيه بالبرونز، أكثر تماسكا و صلابة، و أكثر سهولة في التشكيل و يناسب القولبة لسهولة سيلانه، بالإضافة إلى مقاومته الشديدة مقارنة بالنحاس الخام (G. Grébénart, 1988, p. 20) .

4- الرصاص (Le Plomb) **(Pb) :**

يعد فلز القالينا (La Galène : PbS) (الفلز الرئيسي للرصاص) من بين أهم و أقدم الفلزات التي استعملها انسان ما قبل التاريخ (الصورة.7)، حيث وجدت أقدم الأدوات المصنوعة من عنصر الرصاص، في منطقة شاتال حويوك (Çatal Hüyük) بتركيا، و قد كانت مختلطة مع الأدوات النحاسية، و تعود إلى الألفية السابعة، (J. P. Mohen, 1990, p. 64)، وانتشرت مع نهاية الألفية الرابعة، بالشرق الأدنى و الشرق الأوسط.نشير إلى أن هذه المادة دخلت في تركيبة السبائك النحاسية، لتشكل سبائك ثلاثية مثل البرونز بالرصاص (نحاس-قصدير-رصاص)، أو الليطون بالرصاص (نحاس-توتياء-رصاص)، و كان ذلك منذ نهاية الألفية الثالثة و بداية الألفية الثانية، و تعممت مع نهاية الألفية الثانية(C. Volfovsky, 2001, p. 16)، كما نجدها في الجزائر (حسب عينات متحفي الباردو و سيرتا) (خوخة عياتي، 2016، ص. 160).

5 - الزرنيخ (L'Arsenic) **(As) :**

نجد عامة الفلزات الزرنيخية ذات تركيبة بسيطة على شكل نوعين من الكبريتات، الأولى تعرف بالريالقار (Réalgar As S) و التي تسمى كذلك برهج الغار، و الثانية هي الأوربيمون (Orpiment $As_2 S_3$)، و قد يختلط مع معادن أخرى كالنحاس أو الحديد (الصورة.8).

وحسب الدراسات، فمن الصعب تعدين الزرنيخ خاصة في حالة وجود مستوى مؤكسد نظرا لتبخره السريع. إلا أن الإنسان استعمله كسبيكة مع النحاس منذ فترة ما قبل التاريخ، و هو دليل على مدى تحكم الإنسان في عمليات التعدين خاصة في تشكيل هذا المزيج، و لقد عثر على عدد كبير من الأدوات المعدنية التي تتكون من مزيج من النحاس و الزرنيخ في مواقع أثرية عديدة سواء في الشرق الاوسط، و في مصر، و في أوروبا (I.R. Selimkhanov, J.R. Marechal, 1966, p. 441) ، لكنها توفرت أكثر في أوروبا الشرقية، حيث عثر على العديد من الأدوات التي تميزت بتقنية رفيعة، مما دفع ببعض الباحثين أمثال (E. Tchernykh, 1998) إلى تمييز مرحلة كاملة لهذا المزيج، تعرف بالمرحلة الثانية، محصورة بين المرحلة الأولى أي عصر النحاس و المرحلة الثالثة و هو عصر البرونز(J. P. Mohen, 1990, p. 99) .



صورة. 5- كاسيتيريت (Cassitérite)



صورة. 6- سفاليريت (Sphalérite)



صورة. 7- القالينا (La Galène)



صورة. 8- الريالقار بالأصفر (Réalgar)
و الأربيمون بالأحمر (L'Orpiment)



- أنواع السبائك النحاسية:

تحتوي معظم المعادن الخامة التي نجدها في الطبيعة، على عدة نقائص عند تشكيلها، بسبب خصائصها الفيزيائية و الميكانيكية و الكيميائية، و إذا أضيف لها عنصرا آخر أو عدة عناصر (معدن أو غيره) فقد يغير جذريا من خصائصها و يحسنها، و يعرف المزيج المتحصل عليه بالسبيكة المعدنية (C. Chaussin, G. Hilly, 1976 a, p.1) . هذه السبيكة عبارة عن مركبات معدنية تنتج عن تصلب خليط من معدنين أو أكثر، نذكر على سبيل المثال: البرونز الذي يتكون أساسا من عنصر النحاس يضاف إليه نسبة من القصدير (Cu + Sn)، أو الليطون، الذي يختلف عن البرونز بوجود نسبة من التوتياء (Cu + Zn) بدلا من القصدير. و قد يضاف إلى المعدن الرئيسي، كالنحاس مثلا، نسبة قليلة من عناصر أخرى شبه معدنية، مثل (كربون، سلسيوم، الزرنيخ...إلخ)، للحصول على خليط أكثر جودة من المعدن النقي، و ذلك بتنويع خصائصه الفيزيائية و الميكانيكية و الكيميائية و

تحسينها (أكثر صلابة، و تمدد، و مقاومة للتآكل) (H. Guerin, 1969, p. 153).و حتى نعتبر الخليط غير طبيعي، و الذي تحصل عليه الانسان عن قصد، يجب أن تتراوح نسبة العنصر المضاف بين 2 و 3%، حتى يصنف كسبيكة و ليس كشوائب (H. Meyer-Roudet 1999, p. 32).

عرف الإنسان سبائك مزدوجة (Alliage binaire) كالبرونز، أو الليطون مثلا، و سبائك ثلاثية (Alliage ternaire)، إذا أضيف عن قصد عنصر ثالث كالرصاص للبرونز مثلا، و أخرى رباعية (Alliage quaternaire) بوجود نسبة معتبرة من أربعة عناصر معدنية في القطعة (C. Chaussin, G. Hilly, 1976 a, p. 1).

1- سبيكة البرونز(Le Bronze Cu Sn):

يعتبر البرونز من بين أولى السبائك التي شكلها الإنسان، و أكثرها انتشارا، حيث تعود أولى الأدوات البرونزية إلى الألفية الخامسة، اكتشفت في بلغاريا أين عثر على مخارز من النحاس تحتوي من 6 إلى 10% من القصدير.(J. P. Mohen, 1990, p. 103) يحمل هذا المزيج عدة ميزات جعلته أفضل من النحاس في الاستعمال، و تكمن أهمية خلط هذين المعدنين (النحاس و القصدير)، في توافقهما و تجانسهما الكبيرين (H. Meyer-Roudet 1999, p. 28) . و من بين الفلزات النحاسية الكثيرة و المتنوعة الموجودة في الطبيعة، نجد تلك التي تحتوي على القصدير طبيعيا، و التي تعرف بـــ ستانيت (stannite)، غير أنها نادرة في الطبيعة. فما سر اختيار الإنسان لهذه المادة، و التخلي عن تعدين النحاس الذي لا يتطلب جهدا كبيرا؟

أ- إن إضافة نسبة القصدير إلى النحاس خاصة في حالة وجوده بنسبة قليلة، تجعل المزيج سائلا جدا في حالته الساخنة وتكسبه صلابة و متانة أكبر عند برودته (H. Meyer-Roudet 1999, p. 28) ، خاصة إذا طبقت عليه تقنية الطرق لأن هذه الأخيرة تزيد المعدن صلابة، و بذلك فإن البرونز أحسن من النحاس، في صنع الأدوات القاطعة كالأزاميل، و الفؤوس، و السكاكين و غيرها من الأدوات القتالية أو الأسلحة.

ب- انخفاض درجة انصهار النحاس التي تقدر بـــ 1084°م، خاصة بوجود 10% من القصدير، و بالتالي صهر البرونز يكون أسهل عن النحاس، كما أضيف الرصاص أحيانا لهذا الغرض.

ت- البرونز المنصهر أكثر سيولة من النحاس المنصهر، و بذلك يكون البرونز أسهل في عمليات الصب، فإذا ما قمنا بصب النحاس المنصهر داخل القالب، فان حجمه يتقلص عندما يبرد، و بذلك لا يأخذ كل التفاصيل التي توجد في القالب، عكس البرونز الذي يتميز بخاصية التمدد عندما يبرد، و من ثمة يتطابق مع كل التفاصيل التي يحملها القالب (D. Grébénart, 1988, p. 19).

ث- حينما يبدأ النحاس المنصهر في التجمد، يتأكسد مع وجود الأكسيجين و الغازات الأخرى، التي تتسبب في وجود فقاعات هوائية تزيد من هشاشة القطعة، لكن حينما يخلتط مع القصدير، يحد من

تشكيل هذه الفقاعات (إبراهيم محمد عبد الله، 2012،ص.32). إلاّ انه عندما تكون نسبة القصدير في السبيكة أكثر من 13%، يصعب طرقها و يتشقق المعدن بسهولة، وتنحصر استعمالاته في قولبة الأدوات الصغيرة كالحلي.

عرفت أوروبا بصفة عامة، و دول البحر المتوسط بصفة خاصة تأخرا في تعدين البرونز، لأن الإنسان آنذاك عرف تطور سبيكة أخرى، تتكون من النحاس و االزرنيخ (نحاس مزرنخ Cuivre Arsenié) (I. R. Selimkhanov, J-R. Marechal, 1966, p. 435)، فحسب بعض الباحثين فقد عرف هذا خليط منذ بداية استعمال الإنسان للنحاس الخام (I.R. Selimkhanov, J.R. Marechal, 1966, p. 441) ، و عند البعض الآخر منذ الجزء الثاني من عصر النحاس، و نجده أكثر انتشارا مع بداية عصر البرونز(H. Meyer-Roudet 1999, p. 28) .

بالنسبة للجزائر، وجد الباحث راسال (M. Rassel) سنة 1959 في موقع رأس شنوة بتيبازة، قطعة وحيدة في حالة جيدة من الحفظ، مصنوعة من هذا المزيج (Cu As)، و هو عبارة عن خنجر ذو وجد لسين، يحتوي على 1% من الزرنيخ أعتبر كمزيج طبيعي، و يؤكد الباحثان كامبس و جيبو (P. R.Giot)أنها أقدم أداة وجدت في شمال إفريقيا (G. Camps, P. R. Giot, 1960, p. 269)، حاليا هي مفقودة.

2- سبيكة الليطون (Le Laiton Cu Zn):

تتميز سبيكة الليطون بنفس خصائص البرونز و نفس محاسنه، لكن تعدينها أصعب من تعدين البرونز، إذ يستوجب درجة حرارة عالية تصل إلى 1300°م لعزل التوتياء عن فلزه الرئيسي و هو السفاليريت، و قد تعرف الإنسان على السبيكة قبل أن يتعرف على عنصر التوتياء في حد ذاته، حيث استعمل الليطون منذ الألفية الأولى قبل الميلاد، وتعرف على التوتياء في فترات أحدث تعود إلى القرن السادس عشر. (D. Grébénart, 1988, p. 20).أدى اكتشاف الإنسان للسبائك، إلى تعرفه على ألوان مختلفة و متنوعة، بما أن لون كل المعادن أبيض باستثناء النحاس الأحمر اللون و الذهب الأصفر، لكن بتشكيل السبائك، تنوعت منتجاته و أخذت ألوان مختلفة، فعلى سبيل المثال البرونز، الذي يحتوي على نسبة 5% من القصدير، يكون لون السبيكة وردي محمر، و بوجود 10% تقريبا من القصدير تتحول السبيكة إلى لون وردي ذهبي، و بوجود 15% يصبح لونه ذهبي، و حينما تفوق هذه النسبة، يميل لونه تدريجيا إلى الأبيض، حتى يصبح المزيج، بوجود نسبة 30 إلى 40% من القصدير أبيض اللون، إلى حد خلطه مع الفضة (Meyer-Roudet H. 1999, p. 33). و من ثمة تأثر حرفي المعادن بالتغيرات الفجائية في لون، و درجة حرارة الصهر، و التمدد، و التماسك، و الصلابة، التي كان بإمكانهم الحصول عليها بإضافة و لو كمية قليلة جدا من معدن آخر إلى معدن النحاس، و بعد محاولات عديدة تمكن الإنسان اكتساب خبرة، و التعرف على النسب المناسبة ليتحصل على قطع برونزية أكثر فعالية،

و هذا ما ميز هذه المرحلة التي سميت بعصر البرونز.على عكس المعادن الخامة، فإن ليونة و قابلية تشكيل السبائك تنقص، فالنحاس الحر سهل الطرق و هو على البارد، بينما يستوجب تسخينه عند إضافة القصدير أو التوتياء لتحسين ليونته، ليصبح في هذه الحالة أكثر صلابة و تماسكا.

- تقنيات استغلال الانسان للفلزات النحاسية:

كان النحاس الحر أول المعادن النحاسية السهلة الارجاع التي استعملها الإنسان، مع الأكاسيد (الكوبريت) و الكاربونات (المالاكيت و الأزوريت)، إذ يمكن استخلاص المعدن النقي، بالقيام بخطوة واحدة و هي ارجاع الفلز في فرن لا يتطلب درجة حرارة عالية، إذ يكفي الوصول إلى 700°م ، و هذا من خلال التجربة التي قام بها الباحثين بود و رفقائه (P. Budd, et All.) سنة 1991. (M. Benoît, D. Bourgarit, 1998, p. 27)

1 - طرق تصنيع النحاس الحر و الأكاسيد النحاسية و الكاربوناتية:

تم التعرف على ثلاث تقنيات مختلفة، استعملها إنسان ما قبل التاريخ في البداية لتصنيع أدواته، و حسب بعض الباحثين فإنها كانت تطورية، في حين ينفي البعض الآخر تلك الصفة، و تأتي هذه التقنيات كما يلي:

أ- طرق المعدن على البارد: و هي أبسط تقنية يستعمل فيها الإنسان أداة تتمثل في المطرق الحجري لتشكيل أداته، و تقتصر هذه التقنية في تصنيع أدوات صغيرة الحجم فقط كاللآلئ، و المخارز، و الدبابيس و غيرها، و إذا ما حاولنا الحصول على أدوات أكبر، فقد تظهر شقوق على المعدن بسبب عملية الطرق المكثف، الذي يجعل سطح الأداة أكثر صلابة (140 H_V أي حسب تجربة فيكرس).

ب- طرق المعدن على الساخن: إذا قمنا بتسخين المعدن إلى درجة حرارة تتراوح ما بين 200° و 300°، فإن صلابته تتقلص وتتنقل من H_V140 إلى H_V60 ، فيصبح المعدن أكثر مرونة، و سهل التشكيل عند طرقه. كما تسمح هذه التقنية بتنويع الأدوات، لأن عملية إعادة تسخين المعدن، تقضي على العيوب و التشققات و تعطيه مرونة مجددة.

ت- تصهير المعدن: تمكن الإنسان إثر تسخينه للمعدن من اكتشاف صهارة في قاع الفرن، و هو ما يعرف بالتعدين الإستخراجي، و استطاع بعد عدة محاولات، تشكيل و تنويع أدواته، و ذلك بتصهير النحاس، على سبيل المثال بعد تمكنه من رفع درجة الحرارة إلى 1084° و قولبته. (J. P. Mohen, 1990, p. 49)

عرفت هاتين التقنيتين (الطرق على البارد، و الطرق على الساخن) بالعراق و تركيا فقط، منذ الألفية الثامنة و بداية الألفية السابعة، ثم انتشرت في كل من مصر و البلقان في الألفية الخامسة و الرابعة قبل الميلاد. (D. Grébénart, 1988, p. 15)

2 – كيفية استغلال الإنسان للفلزات النحاسية السورفورية:

ظن الباحثون في البداية، أن الإنسان في الفترات الأولى من عصر المعادن، قد استعمل فلزات نحاسية غير مركبة، و السهلة التعدين فقط (كالنحاس الحر، و الأكاسيد و الكاربوناتية)، أما السلفورات التي تتطلب تقنيات أكثر تعقيدا، تم التعرف عليها خلال عصر البرونز فقط، لكن الاكتشافات العديدة في أوروبا، و الشرق الأوسط، و الأدنى، تؤكد على استعمال مبكر لهذه الفلزات السلفورية، مثل الكالكوبيريت و التترايدريت و هذا منذ بداية استعمال النحاس. (P. Ambert, 1998, p. 3)

تمكن إنسان ما قبل التاريخ من معالجة هذه المعادن المركبة كالفلزات النحاسية السولفورية، بفصل النحاس عن العناصر المعدنية الأخرى، التي يحتويها الفلز بنسب كبيرة، خاصة منه الحديد، حتى يتمكن من تصنيعه، الشيئ الذي يتطلب القيام بعدة خطوات، و التي تتمثل في ثلاث خطوات أساسية و هي: الفرز و التركيز، التحميص، و التصهير الخبثي (أنظر الشكل 1).

أولا: الفرز و التركيز(Tri et Concentration): هي خطوة سابقة لكل معالجة حرارية، يتم فيها القيام بفرز بصري و ذلك بسحق الفلز، و تطهيره من الشوائب، و العناصر المعدنية الأخرى، التي تدخل في تركيبته، بهدف تركيز نسبة النحاس الموجودة فيه.

ثانيا: التحميص(Grillage): هو معالجة حرارية، يتم فيها التخلص من أكبر نسبة من عنصر الكبريت و الحديد، من خلال أكسدة انتقائية (oxydation sélective)، و تهدف إلى أكسدة الفلز السولفوري و هو في حالة صلبة (E. Burger , 2008, p. 20)، يتم ذلك بتكتيل المسحوق على شكل كريات صغيرة بواسطة الطين حتى لا يتبعثر، ثم تعرض الكريات لعملية التحميص بوضعها فوق طبقة من فحم حطبي موجود داخل فرن مفتوح ذو تهوية طبيعية، ثم تغطى كذلك بالفحم و يترك حوالي 4 ساعات، و ينتج عن ذلك تبخر نسبة معتبرة من معدن الكبريت (تبخر نسبة 33% من النسبة الكاملة الموجودة في الفلز) على شكل SO_2 غازي (J. Happ, 1998, p : 20).

و نشير إلى أن الحديد له توافق أكبر للأكسجين من النحاس، اما الكبريت فله توافق أكبر مع النحاس من الحديد (C. Chaussin, G. Hilly, 1974b,p. 195) فينتج عنه انفصال الحديد عن النحاس و تشكيل أكاسيد (كالإماتيت Fe_2O_3، و المانيتيت Fe_3O_4) أو سولفاتات (و تأتي عامة بتركيبة $Fe_2(SO_4)_3.Fe_2(SO_4)_3$) هذا ما يتسبب في تبخر كذلك نسبة معينة أخرى من الكبريت(S)، و الزرنيخ(As)، و الأثمد(Sb)، و ينتج عن عملية التحميص خليط من سولفورات و/أو سولفاتات و/أو أكاسيد من النحاس/الحديد، ذات طبيعة و نسب خاضعة إلى النشاط الحراري thermodynamique و إلى مدة المعالجة (E. Burger, 2008, p. 20) .

فالفلز الذي يحتوي من 10 إلى 20% من النحاس قبل عملية التحميص يصل من 15 إلى 25% بعد التحميص، و كلما أعدنا هذه العملية كلما زاد تركيز النحاس في الفلز. (C. Chaussin, G. Hilly, 1974b,p. 195)

ثالثا: التصهير الخبثي (Fusion Scorifiante) تتمثل في فصل النحاس، و هو في حالة سائلة عن أكسيد الحديد (Benoît M., Bourgarit D., 1998, p. 28) ، باستعمال درجة حرارة عالية تفوق 1100°م، و في هذه الحالة تذوب المادة التي تعرضت مسبقا لعملية التحميص (C. Chaussin, G. Hilly, 1974b,p. 196).

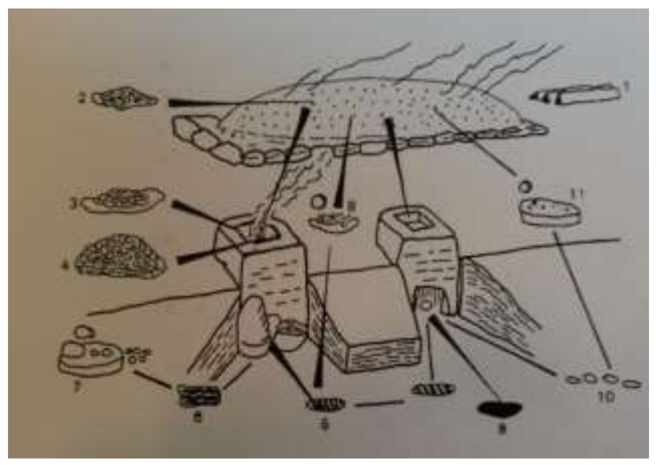
و ينتج عن هذا الانصهار الخبثي، الفصل الفيزيائي بين الأكاسيد المشكلة من جراء التحميص من السولفورات المتبقية، وهي عملية تتم في حالة سائلة طبقا لمبدأ الجاذبية، فأكاسيد الحديد لها نقطة انصهار عالية (الهيماتيت تصل إلى 1565°م و المانيتيت إلى 1597°م) و في هذه الحالة يجب إضافة مادة أخرى تلعب دور المذوب (fondant) و قد استعمل في غالب الأحيان الكوارتز (SiO_2) لأنه يسمح بسجن الأكاسيد الحديدية داخل طور سيليكاتي ذو نقطة انصهار منخفضة، تعرف بخبث المعدن ذات عناصر(Fe, Si, O)، أما سولفورات النحاس و الحديد المتبقية فهي تعرف بـــالمتّة (Matte) ذات عناصر (Cu, Fe, S).
فالنحاس المشكل أي المتّة، كونه أكثر كثافة ينفصل عن الخبث و يتجمع في قاع الخليط طبقا لمبدأ الجاذبية. (E. Burger , 2008, p. 22)، و من ثمة نتحصل على طبقتين مختلفتين، الطبقة العلوية تمثل الخبث المعدني، أما الطبقة السفلية التي تشكلت في الأول فهي تمثل المتّة ذات بريق معدني، تحمل معها أكبر نسبة من النحاس، و يجب ان تكون تلك الطبقة منفصلة تماما عن الخبث المعدني.
تعرف هذه العملية كذلك بالتصهير بالمتّة، و ينتج عنها ارتفاع نسبة النحاس في المتّة من 25 إلى 45% من النحاس (C. Chaussin, G. Hilly, 1974, p. 196) ، كما ينتج عن هذه العملية أكسدة جزء من النحاس الذي ينتقل إلى خبث المعدن، و هنا يمكن اختبار مدى نجاح عملية الإرجاع التي تكون مرتبط بتشكيل خبث معدني جيد، و هذا يعني وجود نسبة ضئيلة من النحاس في هذا الخبث، الذي يمكن استعادة نويات النحاس المحبوسة فيه بسحقها و غربلتها.

رابعا: تحويل المتّة:

تهدف هذه العملية، إلى تصفية النحاس بفصله عن الحديد و السلفور و يتم ذلك بوضع المتّة (Matte) ذات عناصر (Cu, Fe, S) داخل فرن بسيط مشكل من حفرة في الأرض قليلة العمق، محشوة بفحم حطبي متأجج مع وجود فتحة تهوية معطوفة (coudée) و منفخين يدويين (Fasnacht 1995) .
توضع البوتقة التي تحتوي على الكريات في أعلى الحروق، ثم يغطى الكل بالفحم الذي يزيد التهابا بفضل وضعية فتحة التهوية التي يوجه رأسها عموديا فوق البوتقة، تركز هذه الوضعية بدقة و انتظام

معظم الحرارة المشكلة مباشرة على الكريات المعدنية، و بذلك يتحول سولفور الحديد بوجود الأكسيجين و السيليسيوم ليشكل أكسيد الحديد الذي يتوحد مع السيليس، و تنعزل على شكل خبث معدني، أما سورفور النحاس المتبقي، يتأكسد هو الآخر ليشكل النحاس و ثاني أكسيد الكبريت الذي يتبخر، و هكذا يتم تطهير النحاس من العناصر المكونة له، و يصبح بذلك جاهز لعملية تشكيل الأداة (C. Chaussin, G. Hilly, 1974b, p. 198).

و من بين الاستنتاجات التي توصل إليها الباحثون بمنطقة كابريار، هو إرجاع الإنسان لعدة فلزات مشتركة مثل تترائدريت–كالكوبيريت، من خلال إثبات استعمالها بقوة منذ بداية الألفية الثالثة (P. Ambert, 1998, p. 2).



شكل. 1– تحميص (أ) و ارجاع (ب) فلز النحاس السولفوري لمنجم ميتلبرج (Mitelberg) النمساوي.(C. Volfovsky, 2001, p. 17)

1) فحم للتسخين. 2) فلز مهروس. 3) فلز مهروس و محمص. 4) فحم حطبي. 5) المتّة. 6) خبث (FeO, SiO_2). 7) فلز (2% Cu). 8) متّة مهروسة للتحميص. 9) نحاس أسود (<90% Cu). 10) خبث و فلز(2% Cu). 11) فلز متبقي.

3 – طرق تعدين البرونز:

فيما يخص تقنية تصنيع البرونز، فقد تمكن الإنسان من التحكم فيها بسهولة في المراحل الأولى من عصر البرونز، و ذلك بإضافة فلز القصدير المتمثل في الكاسيتيريت مباشرة داخل البوتقة التي تحتوي على نحاس سائل ليتشكل البرونز.(H. Meyer-Roudet 1999, p. 28)

و من خلال التحاليل و التجارب التي قام بها بعض الباحثين، مثل الباحث ماريشال (J. Marechal)، فقد توصل إلى طريقتين لتشكيل البرونز و ذلك منذ اكتشاف الإنسان لعملية التصهير، وهما:

أ– إما بإرجاع فلز الكاسيتيريت للحصول على قصدير نقي، ثم مزجه مع النحاس. (J. P. Mohen, 1990, p : 102)

ب- أو بتشكيل صهارة وذلك بمزج الفلزين معا في آن واحد داخل الفرن (المالاكيت مثلا مع الكاسيتيريت) بهدف الحصول على البرونز.

فقد اتضح من خلال الدراسات، أن هذه التقنية هي الأكثر استعمالا استنادا إلى ندرة كريات القصدير النقية، التي تم العثور عليها في المواقع الأثرية (D. Grébénart, 1988, p. 19)

4 – تعدين الليطون:

تتمثل أقدم تقنية استعملها الإنسان في تشكيل سبيكة الليطون هي تقنية السمنتة، و يستلزم لذلك الوصول إلى درجة حرارة تقدر بـــ 1300°م حتى يتمكن من استخلاص التوتياء من فلزه الرئيسي و هو سولفور التوتياء (السفاليريت)، فعند تسخين النحاس الموجود مع خليط من فلز التوتياء المفتت و فحم حطبي، يتداخل جزء من التوتياء المنصهر القريب من النحاس معه لتشكيل الليطون، و هي نفس التقنية المطبقة للحصول على الفولاد و ذلك بخلط الحديد مع الفحم الحطبي (D. Grébénart, 1988, p. 20).

- طرق تشكيل الأدوات و تقنيات معالجتها

عند استخلاص المعدن النقي من فلزه، أو عند تشكيل سبيكة، يقوم الإنسان بتصنيع أدوات كاملة، و أخرى نصف جاهزة، أو مسائك، و قد تم التعرف على تقنيتين للحصول على أدوات مشكلة من السبائك المعدنية:

أ- الأدوات المشكلة بواسطة الطرق (Les Alliages de forge): تتمثل في السبائك التي تتميز بسهولة كبيرة للتشويه و هي على الساخن، حتى يتم إعطاءها الشكل المراد.

ب- الأدوات المشكلة بالذوبان (Les Alliages de fonderie)، و هي تلك التي تتميز بسهولة قولبتها، و تسمح بالحصول على مادة متماسكة و متجانسة، غير أن الخصائص الميكانيكية للمنتوج المقولب أقل من خصائص الأدوات التي تم تشكيلها بواسطة الطرق، و بالمقابل القولبة هي طريقة اقتصادية، تسمح بتصنيع أشكال معقدة و دقيقة. (C. Chaussin, G. Hilly, 1976a, p. 2)

1 - تقنيات معالجة الأسطح:

إن تشكيل الأدوات القابلة للاستعمال يتطلب جهدا كبيرا، خاصة الأدوات نصف الجاهزة و المسائك، التي تستلزم معالجتها ميكانيكيا أو حراريا لتحقيق الاداة المراد صنعها، و يمكن شرحها كما يلي:

أ- المعالجة الميكانيكية(Traitement Mécanique)**:** تتمثل في محاولة تشكيل أداة معدنية بواسطة التصفيح، و بالتالي يتشوه المعدن ليأخذ شكل الأداة المراد صنعها، لكن اثناء هذه العملية تتعرض هذه القطعة إلى طرق متكرر يعرف **بالطرق المكثف للمعدن** Ecrouissage، يتسبب في تجاوز حدود مرونته و ارتفاع صلابته، و من ثمة فقدان المعدن لأهم خصائصه الميكانيكية، حيث تنقص قدرته على

التشكيل، بسبب الطرق المكثف، وكلما ازدادت صلابته، ازدادت هشاشته ما يجعله أكثر عرضة للكسر.

ب- المعالجة الحرارية أي التلدين(Traitement Thermique ou recuit): لمعالجة قطعة معدنية تعرضت لعملية الطرق المكثف، و استرجاع خصائصها الميكانيكية، تخضع القطعة إلى معالجة حرارية تعرف بالتلدين، تتمثل هذه العملية في إعادة تسخين القطعة في فرن حتى بلوغ درجة حرارة تسمح بتبلر المعدن مجددا و بالتالي يسترجع توازنه تدريجيا.

و في حالة النحاس مثلا يستلزم درجة حرارة لا تقل عن 270°م (I. Lakhtine, 1978, p. 80)، حتى تنقص مقاومته و يستعيد المعدن من جديد أهم خصائصه المتمثلة في قابليته للطرق و ليونته، مما يسمح بمتابعة عملية تشكيل الأداة أي طرق المعدن و تسخينه بالتناوب، دون تعريضه للانكسار. (J. philibert et All, 2002, p. 703)

فقد استعان إنسان ما قبل التاريخ الذي كان يجهل وسائل قياس درجة الحرارة، بالألوان التي تتخذها القطعة لتحديد الوقت الملائم لمواصلة الطرق.

ت- طريقة السقاية أو التبريد السريع (La Trempe): استطاع الإنسان الحصول على أدوات معدنية ذات صلابة عالية، باستعمال هذه الطريقة، التي تستوجب تسخين المعدن في درجة حرارة منخفضة بقليل من نقطة انصهاره ثم تبريده بشكل سريع، بغطسه داخل سائل فاتر أو بارد، مما يؤدي إلى تجميد هيكلة المعدن، ما يعطي للقطعة صلابة أكبر وتماسك، وبالمقابل تصبح سبائك السقاية أكثر هشاشة وأقل قابلية للتطريق، وحتى تسترجع القطعة مرونتها وقابليتها للتشكيل، تعرض من جديد لعملية التلدين (J. Cessac, G. Tréherne, 1966, p. 18).

لقد عرف إنسان ما قبل التاريخ صعوبات، و إخفاقات عديدة في تشكيل أدواته، و بالرغم من ذلك، تمكن من استئناس هذا المعدن، و استغلاله في شتى المجالات، و بفضل تعدد مناهج الدراسة وحداثة الوسائل المخبرية التي يمكن استعمالها في دراسة هذا الموضوع، و التي أصبحت ضرورية و أساسية في الوقت الراهن، أصبح من الممكن التعرف على هذه الصعوبات، و الخطوات و بالتالي إعادة تصور المراحل التي مر بها الإنسان في تشكيل أدواته.

قائمة المراجع

1- **ابراهيم محمد عبد الله**، 2012: دراسات علمية في علاج و صيانة الآثار المعدنية. طبع دار المعرفة الجامعية.

2- **عياتي خوخة**، 2016: طرق تعدين النحاس و سبائكه من خلال دراسة عينات متحفي متحفي الباردو (الجزائر العاصمة) و سيرتا (قسنطينة). رسالة لنيل شهادة الدكتوراه تخصص ما قبل التاريخ.

3- Ambert P., 1998 : Métallurgie préhistorique, métallurgie expérimentale, les fours, état de la question, perspectives de recherches. In : Paléométallurgie des cuivres.Actes du colloque de Bourg-en-Bresse et Beaune,17-18oct. 1997.Collection Monographies instrumentum 5, édition monique mergoil. P. 1-15.

4- Benoît M., Bourgarit D., 1998 : Du minerai de cuivre sulfuré traité dès le chalcolithique : les exemples de Cabrières (Hérault) et Al Claus (Tarn-et Garonne). In : Paléométallurgie des cuivres. Actes du colloque de Bourg-en-Bresse et Beaune, 17-18 oct. 1997.Collection Monographies instrumentum 5, édition monique mergoil.

5- Bétekhtine A., 1968 : Manuel de Minéralogie Descriptive. Edition MIR, Moscou.

6- Burger E., 2008 : Métallurgie extractive protohistorique du cuivre : Etude thermodynamique et cinétique des réactions chimiques de transformation de minerais de cuivre sulfurés en métal et caractérisation des procédés. These de Doctorat de l'Université Pierre et Marie Curie (PARIS 6).

7- Camps G., **Giot P. R.,** 1960: Un Poignard chalcolithique au Cap Chenoua. In: Libyca Archéologie-Préhistoire-Ethnographie. T VIII, 1er Semestre.

8- Cessac J., Tréherne G., 1966 : Chimie. Edition Fernand Nathan.

9- Chaussin C., Hilly G., 1974 a : Métallurgie, alliages métalliques. Tome 1 Technologie et Université. Edition Dunod.

10- Chaussin C., Hilly G., 1974 b : Métallurgie, élaboration des métaux. Tome 2 Technologie et Université. Edition Dunod.

11- Grébénart D., 1988 : Les Origines de la Métallurgie en Afrique Occidentale. Paris, Errance.

12- Guerin H., 1969 : Chimie, Chimie Descriptive, Tome II. Edition Dunod. Paris.

13- Happ J., 1998 : La Découverte de la Métallurgie du Cuivre à travers l'Expérimentation. In : Paléométallurgie des cuivres. Actes du colloque de Bourg-en-Bresse et Beaune, 17-18 oct. 1997.Collection Monographies instrumentum 5, édition monique mergoil.

14- Lakhtine I., 1978 : Métallographie et traitements thermiques des métaux. Traduction Française, Edition MIR Moscou.

15- Meyer-Roudet H., 1999 : A la Recherche du Métal Perdu. Nouvelles Technologies dans la Restauration des Métaux Archéologiques. Edition Errance.

16- Mohen J. P., 1990 : Métallurgie Préhistorique, Introduction à la Paléométallurgie , In Collection Préhistoire. Edition MASSON

17- Philibert J., Vignes A., bréchet Y., Combrade P., 2002 : Métallurgie, Du minerai au Matériau. 2eme édition, édition Dunod.

18- Selimkhanov I. R., Marechal J. R., 1966: Nouvelles conceptions sur les débuts de la métallurgie ancienne en Europe et au Caucase. In : Bulletin de la Société Préhistorique de France.

19- Tylecote R.F., 1991 : Early Copper base alloys ; natural or man-made? In Découverte du Métal, collection Millénaire, Dossier 2, Edition Picard. P:213

20- Volfovsky C., 2001 : La Conservation des Métaux. Ed. C.N.R.S, Paris.